

LIXIVIAÇÃO DE MINÉRIOS DE BAIXO TEOR EM GARRAFÕES COMO ETAPA INICIAL PARA UMA PROPOSTA DE LIXIVIAÇÃO EM PILHAS NO URUGUAI*

Andrés Gonzalo Reyes Unda¹
Carlos Hugo Reyes Martinez²
Vanessa de Freitas Cunha Lins³
Sônia Denise Ferreira Rocha⁴

Resumo

Este trabalho de investigação foi realizado com a intenção de obter uma rota alternativa de lixiviação de ouro para minérios de baixo teor para uma planta industrial que adsorve ouro atualmente pelo processo CIL (*Carbon in Leaching*) na região da Ilha Cristalina de Rivera (ICR). Foram realizados testes em garrações de 20 litros para estabelecer critérios de operação e dimensionamento de uma planta de lixiviação em pilhas permanentes para tratar 1.000.000 toneladas de minério por ano de minério de baixo teor (0,45 - 0,65 g/t) com granulometria menor que 12mm e com produção anual podendo alcançar de cerca de 455 kg de ouro.

Palavras-chave: Lixiviação; Minério de ouro; Cianeto; Hidrometalurgia.

LEACHING OF LOW GRADE GOLD ORES AS INITIAL STEP FOR A PROPOSAL OF PILES LEACHING IN URUGUAY

Abstract

This research was carried out with the intention of obtaining an alternative route to gold leaching of low grade minerals for an industrial plant which adsorbs gold currently at CIL process (Carbon in Leaching) in the region of Rivera Crystalline Island (ICR). Test were performed in flagons of 20 liters to establish operating criteria and design of a leaching plant in permanent cells to treat 1,000,000 tonnes of ore a year of low grade ore (0.45 - 0.65 g / t) with a particle size smaller than 12 mm and may reach an annual production of about 455 kg of gold.

Keywords: Leaching; Gold ore; Cyanide; Hydrometallurgy.

¹ Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Química, Consultor, Santiago, Chile.

² Engenheiro Químico, Consultor, Santiago, Chile.

³ Engenheira Química, Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Professora Associada, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Engenheira Química, Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Professora Associada, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a empresa Orosur Mining Inc. é a única que possui uma planta Industrial que produz ouro utilizando o processo CIL, na cidade de Minas de Corrales a 455 Km da capital Montevideú, com várias minas e explorações principalmente na região da Ilha Cristalina de Rivera (ICR), ver Figura 1

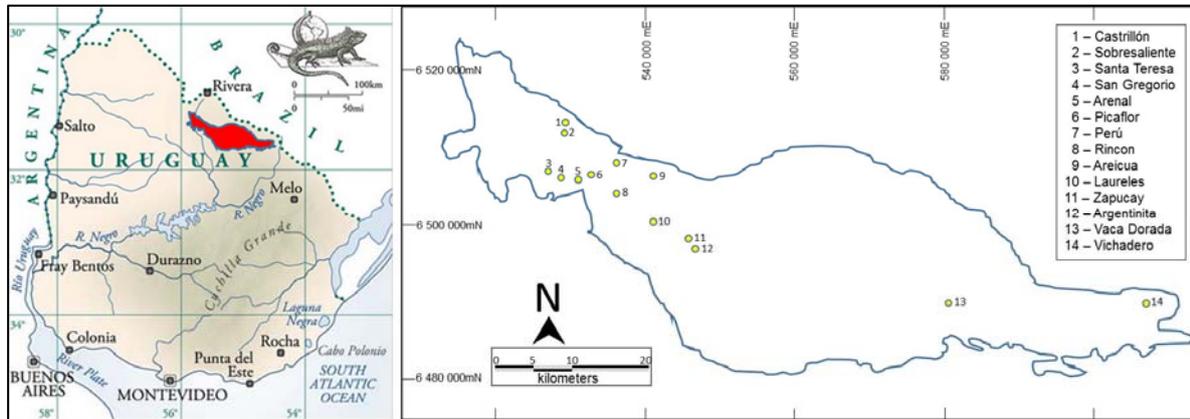


Figura 1 – Localização explorações da Mineração Orosur na Ilha Cristalina (ICR) – Uruguai. Adaptado de [1].

A evolução da produção de ouro de Orosur, desde 2013 até a previsão para 2014, pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção de ouro período 2003-2014 Orosur Mining Inc. Fonte: Orosur Mining, 2014.

Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Au produzido (Kg)	2.126,1	1.500,5	2.334,5	3.150,9	2.999,0	2.820,1	2.181,8	1.743,4	1.736,1	1.724,9	2.021,5	1.874,6
Au recuperado (%)	92,1	92,9	95	93,7	93,1	94,4	92,7	93,4	93,4	92,8	93,8	94,5

A Ilha Cristalina de Rivera possui veios de ouro aflorantes nas encaixantes graníticas e aluviões [2]. Após o recebimento do minério na planta de beneficiamento, a primeira etapa consiste em operações que visam modificar a granulometria, concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma [3]. A empresa de mineração do Uruguai trabalha com um triturador de mandíbula, um moinho tipo SAG, um moinho de bolas, três trituradores terciários, um em operação e dois em *stand by*, e quatro ciclones, três em operação e um em *stand by*, visando a separação do mineral-minério dos minerais de ganga e adequação da polpa para seguir as demais etapas, de lixiviação processo CIL, dessorção e fundição.

Como parte do desenvolvimento e pesquisa foi feito o estudo de uma rota alternativa ao processo CIL para minérios de baixo teor de ouro sendo que uma das opções estudadas foi a lixiviação em pilhas.

O primeiro registro do uso de cianeto para a extração de ouro em minérios foi em 1889 na Mina de Crown na Nova Zelândia [4,5]. Até final dos anos 90, os métodos de lixiviação utilizando cianeto já se aplicavam em 90% da produção mundial de ouro [6]. A tecnologia de extração de metais preciosos por lixiviação em pilhas tem sido largamente estudada e desenvolvida nas últimas décadas para o tratamento de minérios de ouro-prata de baixo teor. A lixiviação em pilha tem a grande vantagem de

baixos custos de capital e operação comparada com as demais técnicas além do menor tempo de construção e implantação para o início de operação. A lixiviação em pilha tem sua aplicação com bastante êxito em todo o mundo independente das variações climáticas, altitudes e diferentes tipos de minérios apesar do fato de ter menor recuperação e uma cinética mais lenta para a extração dos metais de interesse. Os parâmetros ótimos de cianeto de sódio, hidróxido de cálcio dosado ao minério, razão de aplicação da solução de alimentação e o cálculo da recuperação atingida são questões que foram estudadas em testes pilotos de lixiviação [7-9]. Entretanto, a realização constante de testes pilotos é necessária para otimização contínua dos parâmetros envolvidos no processo de lixiviação em pilhas com cianeto, uma vez que cada depósito mineral é único [10]. A granulometria adequada, que permite uma rápida e ótima lixiviação é de $-1/4''$ (6,35 mm) até $-3/4''$ (19mm) [11-14]. Cabe ressaltar também que a operação unitária de redução de tamanho do minério e a etapa de aglomeração para a formação das pilhas de lixiviação podem gerar custos adicionais e ou inviabilizar o processo caso não tenham um controle adequado [15].

Como plano de uma rota alternativa para extração de ouro de minérios de baixo teor montou-se um programa de testes preliminares de lixiviação com cianeto de sódio para verificar os consumos de reagentes e condições ótimas de operação.

Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar uma rota alternativa de produção de ouro utilizando pilhas de lixiviação para minérios de diferentes minas buscando condições metalúrgicas e mecânicas ótimas de implantação e operação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes metalúrgicos foram divididos em duas etapas. A primeira consistiu de testes em garrafões de 20 Litros para estabelecer alguns parâmetros, características de lixiviação dos diferentes tipos de minérios, aqui classificados como **A**, **B**, **C** e **D**, segundo origem, e escolha do minério que seguiria para a segunda etapa com testes em colunas de 3 metros de altura.

As amostras de minério eram colocadas em bandejas de aproximadamente 5 kg para secagem em estufa marca ESSA. Quando secas, seguiam o procedimento de moagem em moinho de mandíbulas ESSA/ JC2500 (para produtos $< 1/4''$) e no moinho de barras (para produtos $< 1,18\text{mm}$) até atingir a granulometria de trabalho, seja para os garrafões e ou colunas. O produto obtido era enviado para um quarteador tipo rifle para gerar as amostras de cabeça para análises do teor de Au e Ag por espectroscopia de absorção atômica em equipamento Varian / SpectAA 240FE, e provas piloto em garrafões e colunas.

Um dos parâmetros importantes do ponto de vista de segurança e aspecto ambiental é a garantia de pH de trabalho superior a 10,5 conseguido com a adição de hidróxido de cálcio/cal ao preparar as soluções dos testes pilotos. O pHmetro usado foi da marca Quimis / Q400as.

A proporção ótima de hidróxido de cálcio dosado por tonelada de minério empilhada deve ser alcançada através de testes pilotos de lixiviação em garrafões e de colunas de lixiviação. Taxas típicas de adição de cal variam de 0,7 a 1,5 quilogramas por tonelada de minério [16]. A dosagem de cal utilizada foi 1 quilograma de hidróxido de cálcio por tonelada de minério.

Os testes em garrafões seguiram as condições de operação conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Condições de operação dos testes de garrafões

Parâmetro	Unidade
Volume do garrafão	20 litros
Granulometria do minério, P ₈₀	75, 106 e 150 µm
Ciclo total	36 horas
Concentração de Cianeto	1000 ppm
Massa do sólido	(3,21 – 6,83) kg
Volume de água destilada	(3,48-4,00) L
Concentração de sólidos	(45 – 63)% p/p
Consumo de Cal	1,9 Kg/t de minério
pH	>10,5
Rotação dos garrafões	(40-50) rpm

As amostras para análise de ouro, prata e cianeto foram tomadas nos seguintes tempos: após 30min de teste e nas demais horas a seguir: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24,30, e 36 horas.

Tomou-se uma amostra de 15mL seguida de centrifugação e filtração, mediu-se o volume do líquido e analisaram-se Au, Ag e CN⁻ com retorno do sólido para o garrafão. Terminadas as 36 horas de teste a solução foi filtrada e levada a estufa para determinação da umidade e verificação dos teores de Au, Ag e CN⁻ nos líquidos e sólidos. Todos os líquidos e sólidos foram destinados de forma ambientalmente correta.

As amostras de sólidos foram preparadas como descrito anteriormente, e foi feita a caracterização da amostra de cabeça com relação ao teor de ouro e prata.

A solução de cianeto foi preparada na concentração e pH de trabalho. Foi feita a pesagem da massa adequada da amostra que foi transferida para o garrafão. A solução de cianeto foi lentamente adicionada ao garrafão.

O pH era ajustado se necessário, garantido sempre seu valor superior a 10,5,

O garrafão era colocado no sistema de rolos giratório para contabilizar o tempo de prova, no total de 36 horas tomando as amostras conforme definição de trabalho até o final do teste. Ao final dos testes o conteúdo dos garrafões era filtrado e determinavam-se os teores de ouro e prata no líquido e sólidos por ensaios a fogo e análises por absorção atômica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes metalúrgicos (garrafões), dos minérios de baixo teor selecionados foram divididos em 17 testes em garrafões, feitos em duplicatas, primeira etapa.

A Figuras 2, minério A, e Figura 3, minérios B, C e D, indicam os resultados dos 34 testes realizados entre 14 de fevereiro e 09 de março de 2014 com teores de cabeça de ouro, variando de (0,45 a 1,00) g/t e prata, variando de (1,0 a 4,0) g/t, nas amostras estudadas nos testes em garrafões e as respectivas extrações, com concentração de sólidos variando entre 44,5% a 63,1%.

As extrações de ouro variaram entre 71,0% a 94,0%. Para o minério A as maiores extrações ocorreram com granulometria de 150 µm, variando de 84,0% a 94,0%, sendo que as extrações superiores a 91,0% foram alcançadas com concentração de sólido de (47,40 ± 2,90) %. O minério B teve extrações variando entre 78,0% a 83,0%, sem apresentar grandes variações devido à diferença de granulometria. O minério C teve extrações da ordem 84,0% a 92,0% em que a maior extração ocorreu para a

granulometria de 150 μm enquanto que o minério D apresentou extrações variando entre 78,0% a 83,0%.

A extração de prata teve uma grande variação, desde 14% a 70% e se incorporaram a solução na lixiviação juntamente com o ouro.

Durante todo o experimento, o pH das soluções se manteve superior a 10,5 e a concentração de cianeto de sódio, em 1000ppm, com pequenas reposições, devido ao consumo durante a lixiviação. Este consumo de cianeto foi da ordem de (0,5 a 1,0) kg/t

Todas as soluções utilizadas para análise foram devidamente armazenadas, para contra prova ou reanálise, e posteriormente descartadas conforme norma da empresa. Os resultados com granulometria P80 de 150 μm e porcentagem de sólido de 47,40% \pm 2,90 foram as que apresentaram resultados com maior extração de ouro, 92,0% a 94,0%, e extração de prata superior a 55%.

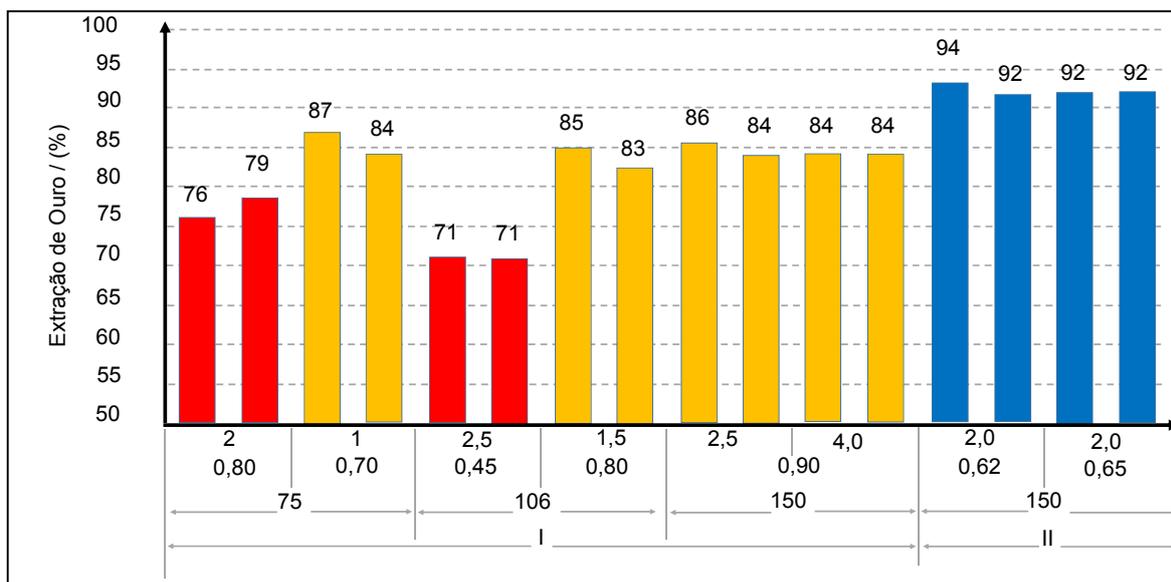


Figura 2 – Resultados dos testes em garrafões para o minério A realizados na 1 etapa. A abcissa apresenta: a porcentagem de sólido (I - 61,7 \pm 1,40 e II 47,40 \pm 2,90)%, as granulometrias utilizadas (75, 106 e 150) μm ; os teores de cabeça de ouro variando de 0,45 a 0,90 g de Au por tonelada de minério e os teores de cabeça de prata variando de 1 a 4 g/t.

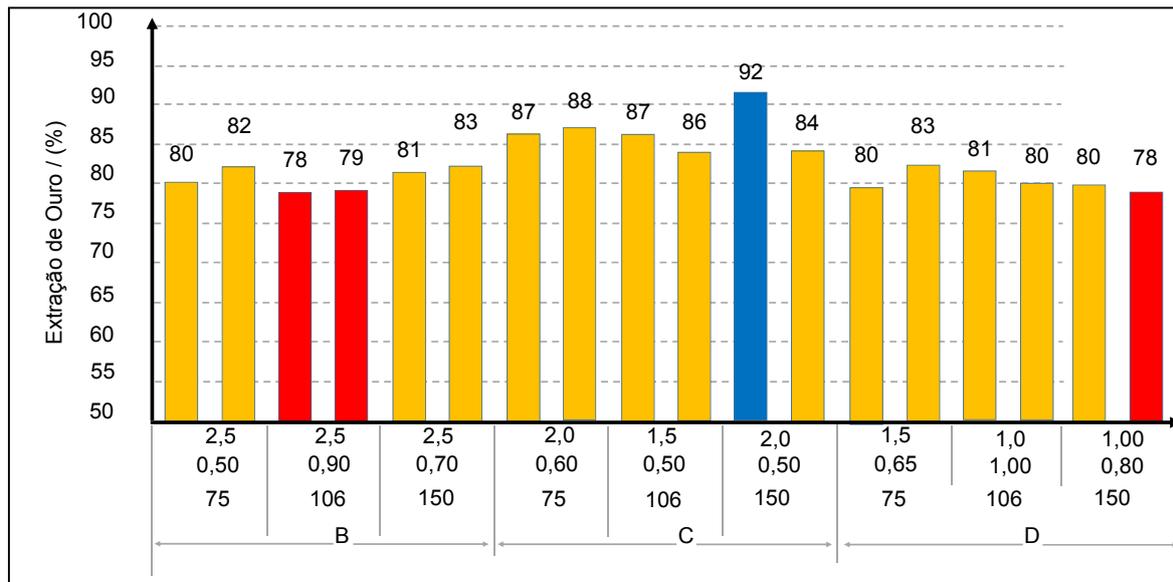


Figura 3 – Resultados dos testes em garrações dos minério B, C e D realizados na 1 etapa de testes. A abcissa apresenta: Os minérios B, C e D; as três granulometrias utilizadas (75, 106 e 150) μm ; os teores de cabeça de ouro variando de 0,45 a 1,00 g/t e os teores de cabeça de prata variando de 1 a 2,5 g/t. Com porcentagem de sólido igual a $61,7 \pm 1,40\%$

A Figura 4 indica o perfil da curva cinética de extração para 9 amostras do minério A em função do tempo para 4 amostras com granulometrias de 106 μm e 5 amostras com granulometria de 150 μm . Para essas amostras a partir de 10 horas de reação já era evidente extração de até 80% do ouro.

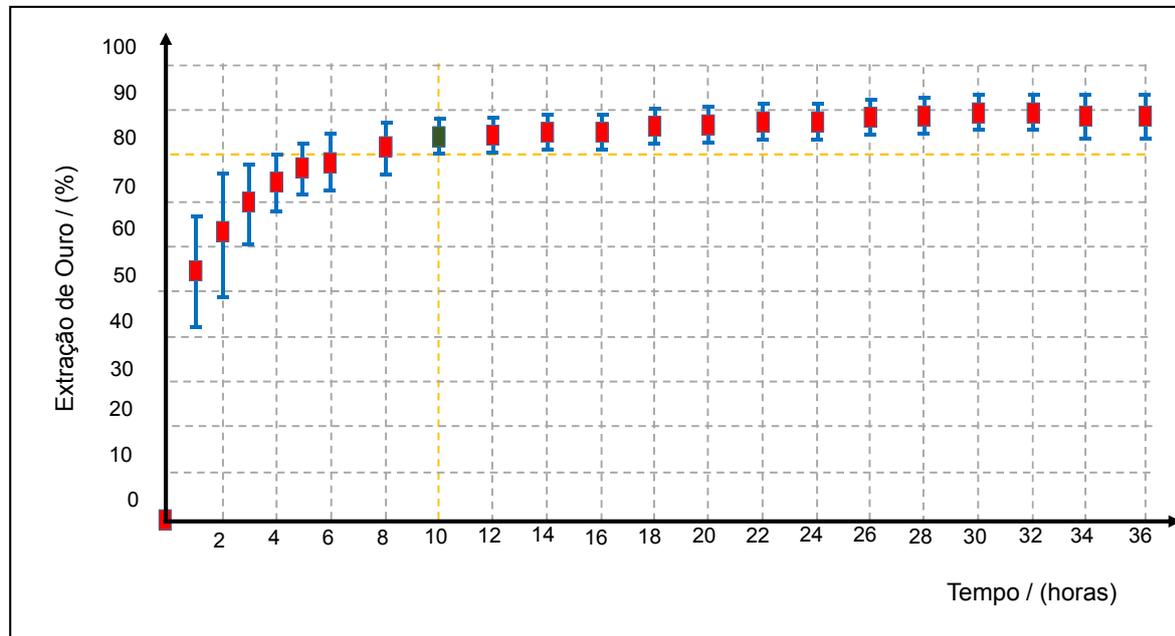


Figura 4 – Curva de extração do teste em garrações de 9 amostras do minério A.

Os resultados promissores para o **minério A** incentivaram a dar continuidade com os testes metalúrgicos de lixiviação em colunas de 3 metros orientadas a definir o processo e parâmetros de desenho para uma planta industrial de lixiviação em pilhas para minérios de ouro de baixo teor.

4. CONCLUSÕES

Através desse trabalho foi possível concluir que:

Os minérios A, B e C apresentaram maiores extrações de ouro em granulometrias menores, P_{80} de $150\mu\text{m}$.

O minério A apresentou maiores extrações de ouro em concentrações de sólidos da ordem de $47,40\% \pm 2,90$.

O consumo de cianeto de sódio foi normal para um processo industrial.

As primeiras horas de reação para o teste em garrafões já pode indicar o teor das extrações considerando-se as características do minério.

A dosagem de cal utilizada, segundo orientação da planta industrial, pode ser aplicada para os testes em coluna devido as características do minério.

A granulometria a ser utilizada para as provas pilotos em colunas poderia ser na faixa de $6,35\text{mm}$ a $12,70\text{mm}$.

O minério A apresentou recuperações consideráveis nos testes em garrafões e poderia ser utilizado para testes em uma planta piloto de lixiviação em colunas.

REFERÊNCIAS

- 1 Orosur Mining, 2014. [página da internet]. AUG´2014 Corporate Presentation. (http://www.orosur.ca/_resources/presentations/2014-08-19-Corp_Presentation.pdf).
- 2 QUADROS, T.F.P., 2000. "Integração de dados em ambiente SIG para Mapeamento de Favorabilidade Mineral de Ouro na Ilha Cristalina de Riveira (Uruguai). Porto Alegre. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 258 p. (Dissertação de Doutorado, Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM).
- 3 LUZ, A.B. E LINS, F.A.F., 2004. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.; ALMEIDA, S.L.M. Tratamento de Minérios. 4ed. Rio de Janeiro CETEM/MCT. nº 1, p.3-16.
- 4 DORR, J.V.N., 1936. Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores. McGraw-Hill, New York.
- 5 JOHNSON, C. A., 2014. "The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective". Applied Geochemistry (2014). Elsevier: disponível em : <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.05.023>
- 6 YARAR, B., 2001. Cyanides in the environment and their long-term fate. In Unal, E., Unver, B., Tercan, E. (Eds.), Proceedings of the Seventeenth International Mining Congress and Exhibition of Turkey: Kozan Ofset Malbaacilik San Vetic Ltd., Ankara, pp. 85–92
- 7 ROENICK, F. S. F., 2013. "Extração de Ouro Contido em Minério de Baixo Teor empregando Pilhas de Lixiviação com Cianeto". Belo Horizonte. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. 138p. (Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas)
- 8 HECK, N.C. ENG06631 - Metalurgia Extrativa dos Metais Não-Ferrosos I-A. UFRGS, DEMET. Disponível em: < <http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06631/Lixiviacao.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2014.
- 9 VILLAS BÔAS, R.C.; LIMA, L.R.P.A.; KOHLER, H.M., 2002. Modelagem e Simulação do Processo de Lixiviação em Pilhas de Minérios Auríferos Voltados ao Desenvolvimento de Critérios de Sustentabilidade. In: VILLAS BÔAS, R.C.; BEINHOFF, C. Indicadores de Sostenibilidad para La Industria Extractiva Mineral. Rio de Janeiro. CNPq/CYTED, 2002. p. 241 – 261. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-123-00.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2012.

- 10 MARSDEN, J.O.; HOUSE C.I., 2006. *The Chemistry of Gold Extraction*. 2 ed. Littleton, Colorado, Estados Unidos. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). 651 p.
- 11 PAYANO, J.T., 2011. Caracterización, Influencia y Tratamiento de Arcillas em Procesos de Cianuración en Pilas”. Oviedo. Universidad de Oviedo, departamento de Explotacion y Prospección de Minas, p. 15-16. (Tesis Doctoral, Doctorado, Minería, Obra Civil y Medio Ambiente)
- 12 GUILBERT, J. M.; PARK, Ch. F., 1986. *The geology of oro deposits*. Freeman. 985 pp.
- 13 MURR, L.E.; SCHLITT, W.J. E CATHLES, L.M. Experimental observations of solution flow in the leaching of copper-bearing waste. *Interfacing Technologies in Solution Mining. Proceedings of the Second SME-SPE International Solution Mining Symposium*, W.J. Schlitt and J.B. Hiskey, Denver, CO. pp. 271-290 (1981).
- 14 MURR, L.E. Theory and practice of copper sulphide leaching in dumps and in situ. *Minerals Science and Engineering*. V 12, nº3, p.121-189 (1980).
- 15 MILLER, J. D; NIKHIL, D. M; SADEGH, S.; MOATS, M. S; RAJAMARI, R. K., 2013. Crushed ore agglomeration and its control for heap leach operations. *Minerals engineering*. V41, p 53-70
- 16 STANGE, W. *The process design of gold leaching and carbon-in-pulp circuits*. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 1999. p. 13 - 26.